

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-4321

(P2001-4321A)

(43)公開日 平成13年1月12日(2001.1.12)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード [*] (参考)
G 0 1 B 11/00		G 0 1 B 11/00	G 2 F 0 6 4
9/02		9/02	2 F 0 6 5
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 0 3 A 5 F 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平11-170988

(22)出願日 平成11年6月17日(1999.6.17)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 一色 史雄

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 保坂 純男

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 100061893

弁理士 高橋 明夫 (外1名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザ測長計

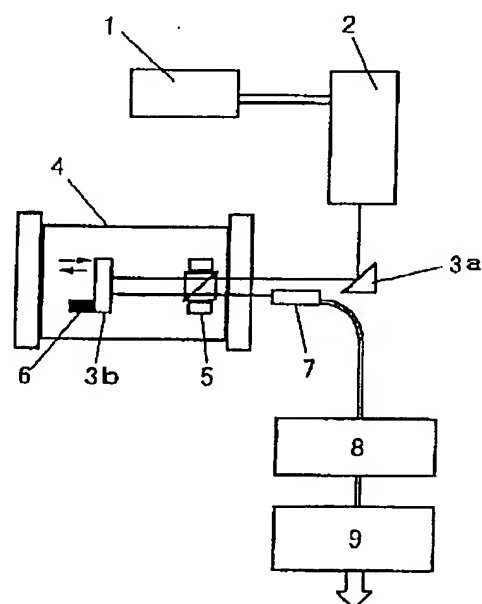
(57)【要約】

【課題】平均化処理を採用した、検出遅延時間が短くかつ測定精度が高いレーザ測長計を提供すること。

【解決手段】平均化の手法として移動平均法によるフィルタを用い、その平均時間を、レーザの励起周期の整数倍に設定する。

【効果】0.1nm精度の高精度な位置検出と、0.1ms以下の短い検出時間を同時に実現することができる。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 レーザを測定用光源として使い、被測定物からの反射レーザを用いて測長を行なう測長計において、反射レーザ光を電気信号に変換してなる検出信号を平均化して出力する信号処理回路を備え、当該信号処理回路は、平均時間がレーザの励起周期の整数倍に設定された移動平均フィルタを有していることを特徴とする測長計。

【請求項 2】 測長値を量子化してデジタル出力値として出力するレーザ測長計において、連続するデジタル出力値を平均化する信号処理回路を有し、当該信号処理回路は、設定されている最小分解能以下かつ 1 nm 以下の精度で位置検出を行なうことを特徴とするレーザ測長計。

【請求項 3】 前記信号処理回路は、実行する平均化処理の検出周期が 0.1 ms 以下であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の測長計。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の測長計を用いたことを特徴とするフィードバック制御機構。

【請求項 5】 レーザを測定用光源として用いる計測機器において、レーザ光を電気信号に変換してなる検出信号を平均化して出力する信号処理回路を備え、当該移動平均フィルタは、平均時間がレーザの励起周期の整数倍に設定された移動平均フィルタを有していることを特徴とする計測機器。

【請求項 6】 前記信号処理回路は、実行する平均化処理の検出周期が 0.1 ms 以下であることを特徴とする請求項 5 に記載の計測機器。

【請求項 7】 請求項 6 に記載の計測機器を用いたことを特徴とするフィードバック制御機構。

【請求項 8】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載していることを特徴とする少なくとも一つの軸を有するステージ。

【請求項 9】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載していることを特徴とする XY ステージ。

【請求項 10】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載していることを特徴とする電子線描画装置。

【請求項 11】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載していることを特徴とする半導体ステッパー。

【請求項 12】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載していることを特徴とする微細加工装置。

【請求項 13】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載していることを特徴とする精密加工装置。

【請求項 14】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載していることを特徴とする精密金属加工装置。

【請求項 15】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載していることを特徴とする精密セラミック加工装置。

【請求項 16】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載していることを特徴とするマスクパターン転写装置。

【請求項 17】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載していることを特徴とするマスク作製装置。

【請求項 18】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載し、測長機能を備えていることを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項 19】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載し、測長機能を備えた透過電子顕微鏡。

【請求項 20】 請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の測長計又は請求項 5～請求項 7 のいずれかに記載の計測機器を搭載していることを特徴とする非接触形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、測長技術、計測技術及び評価技術並びに精密加工技術、微細加工技術、半導体加工技術及び原盤加工技術に係り、特に、ナノメートル・オーダの精度を必要とする測長を行なう装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体リソグラフィーのステッパや、精密機械加工装置において用いられる XY ステージ等は、その制御のために高精度の測長手段が必要になる。そのような測長手段として、レーザを使った測長計が多く用いられている。レーザ測長計は、被測定体からの反射レーザ光による干渉縞を使って高精度に測長を行なうもので、既に幾つかが市販されている。レーザ測長計の一般的な測長精度は、 ± 2 nm 程度である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】レーザ測長計の精度向

上に、平均化を行なってノイズを低減することが有効であるが、平均化には1ms以上の検出時間が必要と見積もられる。そして、この検出時間により、加工時間が決定される。

【0004】なお、平均化を行なってノイズを低減する手法とし、接触式の変位測定において移動平均フィルタを用いる方法があり（例えば特開平7-306034号公報参照）、電波の周波数の測定において、ノイズ中の特定周波数のみを取り除くフィルタ処理があり（例えば特開平11-72560号公報参照）、また、光干渉計を用いた波長の測定において、波長の複数回測定結果を平均化する方法がある（例えば特開平9-178567号参照）。

【0005】さて、今後の加工や計測では、1ms以上の検出時間では不十分であり、検出時間を短縮して加工時間を短縮することが要求される。また、従来のレーザ測長計で採用されているステップ制御に代えて、ステージを連続的に動かしながら動的にフィードバックを掛けて制御を行なう方法を採用する場合にも、フィードバックの安定化のために検出時間の短縮が要求される。

【0006】即ち、動的なフィードバック制御を用いる場合、検出遅延時間が短縮されても0.1msよりも長いと、制御周波数が10kHz以下となり、それによって機械系で共振を引き起こしやすく、フィードバック制御が不安定になり易くなる。そのため、動的なフィードバック制御を用いる場合、検出遅延時間を0.1ms以下とする必要がある。

【0007】即ち、今後の加工や計測に対しては、平均化による検出遅延時間を0.1ms以下とし、かつ、現在の ± 2 nm程度である測長精度を0.5nm以下とすることが適切な目標となる。

【0008】本発明の目的は、平均化処理を採用した、検出遅延時間が短くかつ測定精度が高いレーザ測長計を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】検出遅延時間が短くするためには、測定のサンプリング周期を短くし、更に測定精度を高めるために平均化を採用することが効果的であるが、そのような手段を使ってもなお変動が残留し、精度が不十分であることが認められた。その原因を子細に調査した結果、交流励起されたレーザ光にその励起周期に基づく特定の周波数の大きいノイズ成分があり、そのノイズ成分が残留変動の原因になっており、特定の周波数のノイズ成分を除去することによって精度が高まることが判明した。本発明は、そのような調査に基づいてなされたものである。

【0010】即ち、本発明の前記課題は、レーザ測長計から得られる変位出力信号の平均化の際に、その平均方法を移動平均とし、その平均時間を、測長光源として用いるレーザの励起周期・変調周期、またはその倍数に近

い値に設定することによって効果的に解決することができる。そのような手段を採用すれば、移動平均によって平均時間に対応する周波数で利得が零になるので、その周波数を前記ノイズ成分の周波数に一致させてノイズ成分を除去することができ、これにより、短い平均時間で、かつ効率の良いノイズ除去を行なうことができるからである。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係るレーザ測長計を図1～図8に示した発明の実施の形態を参照して更に詳細に説明する。

【0012】本発明によるレーザ測長計の全体構成例を図1に示す。図1は、レーザ測長により、真空中での精密測長を行う場合の具体例である。

【0013】レーザ電源1によりレーザヘッド2が駆動され、発生したレーザ光は、第1の反射鏡3aにより真空チャンバ4内部に導入される。真空チャンバ4内部には、干渉器5と、アクチュエータ6によって移動可能な第2の反射鏡3bがあり、反射したレーザ光は、干渉器5と反射鏡3bの間の距離を4往復した後、干渉器5内部にて干渉し、干渉縞を生じる。この干渉後の光は、真空チャンバ4の外部で受光ヘッド7によって受光され、電気信号に変換される。この電気信号の変化がアクシスボード8にて、長さの情報即ち座標変位に換算され、座標変位の最小分解能を単位とするデジタル変位値として出力される。レーザ電源1は、レーザを一定の周期を有する交流で励起するものである。

【0014】従来、このデジタル変位値を、数msごとに間引いて読出して、平均化して出力することが通常行なわれているが、そのため、平均化には数十ms程度の時間を要している。本構成においては、アクシスボード8の出力を直接処理することにより、この読出し周期、即ちサンプリング周期をアクシスボード8の最短出力周期と同じ0.1 μ sとしており、高速化している。得られた0.1 μ s周期の座標データは、デジタル平均化ユニット9にて、レーザ発振の励起周期と同じ14.6 μ sの平均時間で、移動平均法によるフィルタを用いて平均化され、出力される。このようなアクシスボード8及びデジタル平均化ユニット9によって信号処理回路が形成される。

【0015】なお、真空チャンバ4を用いて、測長光路を真空としたのは、空気の揺らぎや湿度の変化に伴う屈折率の変化によりレーザ光の波長が変化し、測長誤差が生じることを防ぐためである。また、測長精度を維持するために、2つの反射鏡3、真空チャンバ4の壁面に取付けられて真空と大気の境目となる透明窓等の部品は、全て、不必要な多重反射を防ぐため、多層膜コートを施したものが使用されている。なお、用いたレーザ光源は、He-Neの気体レーザで、出力光の波長は632.8nmである。

【0016】次に、本レーザ測長システムの信号処理方法について以下に説明する。図1に示した本発明によるレーザ測長システムを用い、アクチュエータ6の駆動を固定して、静的な状態で測定した、アクシスボード8のデジタル変位出力値の原信号を図2に示す。図2は、160 μ sの期間(1600サンプル)における、時間に対する変位出力の変動を表している。変位は10MHz周期で出力される。最小分解能が0.3nmになるように設計したアクシスボード8を用いているにもかかわらず、変位出力信号の値は、その10倍近い値で、ノイズにより絶えず変動していることが分かる。なお、図2中の横点線は、測長計の最小分解能の0.3nmの大きさを示している。

【0017】信号処理でノイズを縮小する場合、検出精度と検出遅延時間の2つの値は、互いに相反するの関係にあり、検出精度のみを高くしようとすると、長い検出時間による平均化が必要となる。図3は、通常、簡便で良く用いられる積分フィルタ(RCフィルタ)で平均化した場合の信号である。時定数12.8 μ sの積分フィルタを用いている。細かな高周波ノイズの成分はほぼ取り除けているものの、10~20 μ sの周期的な変動成分が残っていることが分かる。

【0018】図4は、本発明によるデジタル平均化ユニット9にて、時定数7.3 μ sの移動平均により平均化した信号である。ただし、時定数と平均時間は倍半分の関係にあり、平均時間に換算すると2倍の14.6 μ sとなる。一般的に、時定数の同じ積分フィルタと移動平均フィルタは、ホワイトノイズに対しては、ほぼ同じノイズ縮小性能を持つ。

【0019】積分フィルタによる図3の平均化信号と異なり、図4においては、周期的な変動成分がほぼ消えており、より短い時定数の平均化フィルタで、十分なノイズ処理が行なえていることが分かる。これは、移動平均法のフィルタ特性と、平均時間の設定によって得られた効果である。図5~図8を用いてフィルタ設定の詳細を説明する。

【0020】図5は、図2に示した平均化前の原信号を周波数スペクトルに直したものである。1MHz付近の高周波ノイズの他に、68kHz付近に鋭く大きなノイズ成分が出ていることが分かる。この周波数は、レーザの励起周波数によるノイズであり、これは励起されたレーザの変調信号に倍数周波数の信号が出ていることで確認することができる。図3の平均化信号に残っていた周期的な変動は、この周波数成分によるノイズである。

【0021】このノイズは、移動平均フィルタの特性を利用して取り除かれる。移動平均フィルタの利得は、フィルタの時定数 $\Delta\tau$ と、周波数 f に対して、

【0022】

【数1】

$$\left| \frac{\sin(2\pi\Delta\tau \cdot f)}{2\pi\Delta\tau \cdot f} \right|$$

【0023】のように表される。図6に、このフィルタ利得の周波数依存性を示す。実線が移動平均フィルタの利得曲線10、点線が比較のための積分フィルタの利得曲線11である。図に見られるように、移動平均フィルタは、積分フィルタと異なり、遮断周波数の直近で、一度利得がゼロになる周波数が存在する。

【0024】実際に同一のホワイトノイズに対して、移動平均フィルタと積分フィルタにより平均化した信号の周波数スペクトルの例を図7に示す。実線が移動平均フィルタによる平均化信号の周波数スペクトル12、点線が積分フィルタによる平均化信号の周波数スペクトル13である。殆どの周波数帯域で二つのスペクトルはほぼ一致しているが、移動平均フィルタを通過後のノイズのスペクトルのみ、矢印で示した部分の周波数域の成分が、ゼロ近くに抑えられている。この周波数を、先程の図5のレーザ励起に伴うノイズの周波数に一致させることで、レーザ励起に伴う問題のノイズピークをほぼゼロにまで抑えることができる。これを実現するために、移動平均の平均時間(2 $\Delta\tau$)が、図5のレーザの励起に伴うノイズピークの周波数の周期に丁度一致するよう設定すればよい。更に、移動平均フィルタは、上記平均時間の逆数の周波数の整数倍でも利得がゼロになることから、平均時間はノイズピークの周波数の周期の整数倍とすることが可能である。

【0025】図8は、上記方法により平均化した図4の信号を、周波数スペクトルに直したものである。図5に比較して、問題となっていた68kHz付近のレーザ励起に伴うノイズの周波数(矢印の位置)のピークの大きさが、ほぼゼロに抑えられていることが分かる。これにより、短い時定数を持つ、平均時間の比較的短い平均化フィルタを用いても、効率良く、平均化後の信号にて高い位置精度が得られることが分かる。上記実施例においては、僅か14.6 μ sの平均時間にて、 ± 0.1 nmの位置精度が得られている。

【0026】以上示したように、本発明による方法を用いると、レーザ測長計にて、高い測長精度を、短い検出遅延時間で実現することができる。また、測長によって位置検出が可能であるから、高い精度でかつ短い検出遅延時間で位置検出を行なうことが可能となる。

【0027】また本方法は、レーザを用いる測長計以外の計測器でレーザの励起周期に同期して生じるノイズ変動が問題となる、機器に対しても適用可能である。

【0028】本手法、および本実施例に述べた装置構成は、精密な制御を必要とする一軸ステージ又はXYステージ、電子線描画装置、半導体ステップ、微細加工装置、精密加工装置、精密金属加工装置、精密セラミック加工装置、マスクパターン転写装置、マスク作製装置、

走査電子顕微鏡、透過電子顕微鏡、非接触形状測定装置のような機構又は装置に利用可能であり、測長精度の向上と、検出時間の短縮化によって、これらの装置の加工のスループット向上、制御の高速化或いは測定効率の向上が可能である。

【0029】また、検出時間がフィードバック制御の制御ループ遅延時間とほぼ同じ値にまで短縮させることにより、動的なリアルタイム制御が可能となる。機械系の振動が収まるまでセトリングによって待つ必要がなくなることで、精密加工装置・精密計測装置の制御方法自体が、静的なステップング制御から、動的な連続駆動制御に変えられるようになり、制御の自由度がより高められるという効果を奏する。例えば、測長機能を設けた走査電子顕微鏡 (SEM) や透過電子顕微鏡 (TEM) においては、ステージを動的に移動しながら測長を行い、またはリアルタイムに像やスケールの補正を行うといった計測や制御が可能になる。

【0030】

【発明の効果】本発明によれば、高精度の位置検出を、短い検出時間で実現できるため、動特性の改善された高精度測長計や高精度ステージを提供することができる。各種測長機器、計測機器、電子顕微鏡等においては、測定精度の向上、測定時間の短縮、半導体加工装置・マスク製造装置・精密加工装置・微細加工装置においては、加工精度の向上、スループットの向上、制御方法の自由度の向上という効果が得られる。測長機能を備えた走査電子顕微鏡においては、ステージを連続移動しながらの

位置の補正、スケールの校正や、像の補正を行なえ、制御方法に加えて計測方法の自由度をも向上できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係るレーザ測長計を説明するためのシステム全体構成図。

【図 2】アクシスボードより出力される検出変位出力の原信号を示す波形図。

【図 3】時定数 $12.8 \mu s$ の積分フィルタを経たアクシスボードの変位出力を示す波形図。

【図 4】時定数 $7.3 \mu s$ の移動平均フィルタを経たアクシスボードの変位出力を示す波形図。

【図 5】アクシスボードの検出変位出力の原信号の周波数スペクトルを示す図。

【図 6】移動平均フィルタと積分フィルタの利得の周波数依存性を示す図。

【図 7】移動平均フィルタと積分フィルタを経たそれぞれのホワイトノイズ信号の周波数スペクトルの例を示す図。

【図 8】時定数 $7.3 \mu s$ の移動平均フィルタを経たアクシスボードの変位出力の信号の周波数スペクトルを示す図。

【符号の説明】

1…レーザ電源、2…レーザヘッド、3a, 3b…反射鏡、4…真空チャンバ、5…干渉器、6…アクチュエータ、7…受光ヘッド、8…アクシスボード、9…デジタル平均化ユニット。

【図 1】

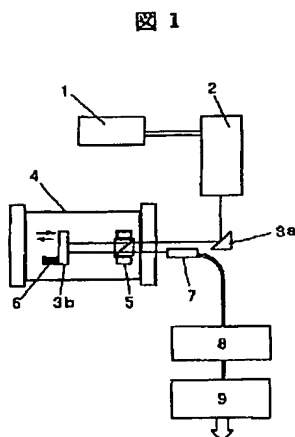


図 1

【図 2】

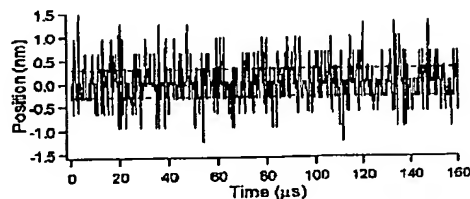


図 2

【図 4】

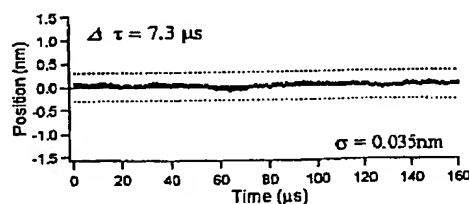


図 4

【図 3】

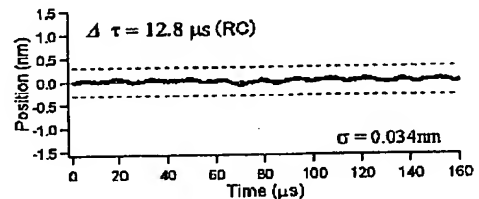


図 3

【図 5】

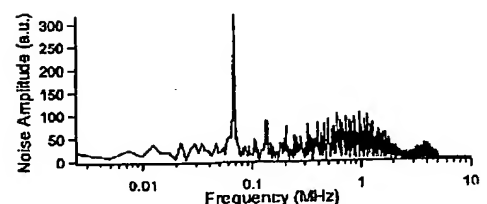
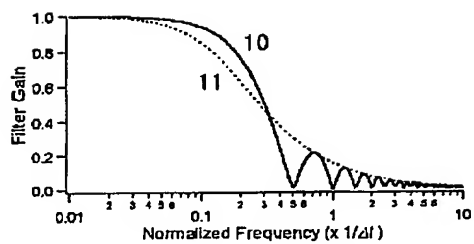


図 5

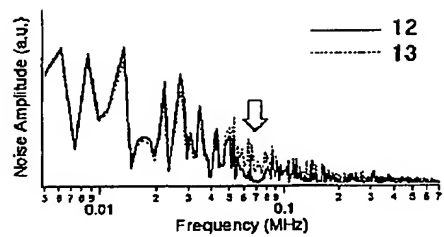
【図6】

図6



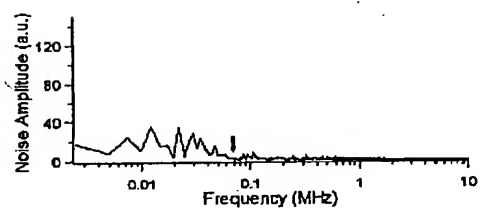
【図7】

図7



【図8】

図8



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F064 AA01 BB01 CC01 DD04 DD08
EE01 FF02 GG13 GG22 HH01
HH05 JJ00
2F065 AA06 DD04 DD06 EE11 FF51
GG05 GG22 HH13 JJ01 JJ09
LL12 LL46 NN02 NN19 PP22
QQ01 QQ03 QQ14 QQ33 QQ34
QQ42
5F046 CC03 CC16 DB05